

(12)特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関  
国際事務局(43) 国際公開日  
2004 年 6 月 3 日 (03.06.2004)

PCT

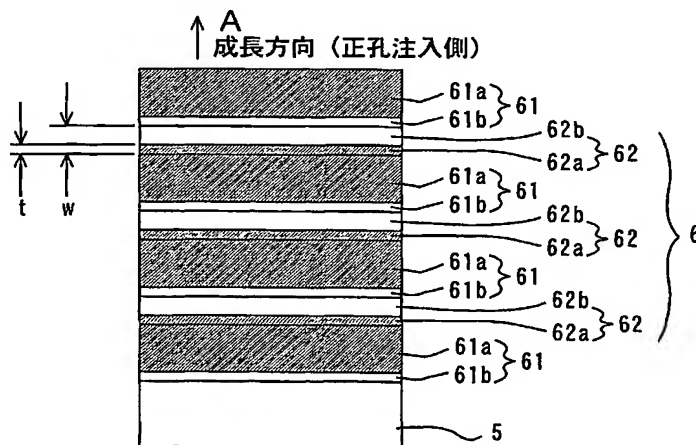
(10) 国際公開番号  
WO 2004/047245 A1

- (51) 国際特許分類<sup>7</sup>: H01S 5/343 (72) 発明者; および  
(21) 国際出願番号: PCT/JP2003/014366 (75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 渡辺 温 (WATANABE, Atsushi) [JP/JP]; 〒350-2288 埼玉県 鶴ヶ島市 富士見 6 丁目 1 番 1 号 パイオニア株式会社 総合研究所内 Saitama (JP). 伊藤 敦也 (ITO, Atuya) [JP/JP]; 〒350-2288 埼玉県 鶴ヶ島市 富士見 6 丁目 1 番 1 号 パイオニア株式会社 総合研究所内 Saitama (JP). 高橋 宏和 (TAKAHASHI, Hirokazu) [JP/JP]; 〒350-2288 埼玉県 鶴ヶ島市 富士見 6 丁目 1 番 1 号 パイオニア株式会社 総合研究所内 Saitama (JP). 木村 義則 (KIMURA, Yoshinori) [JP/JP]; 〒350-2288 埼玉県 鶴ヶ島市 富士見 6 丁目 1 番 1 号 パイオニア株式会社 総合研究所内 Saitama (JP). 宮地 護 (MIYACHI, Mamoru) [JP/JP]; 〒350-2288 埼玉県 鶴ヶ島市 富士見 6 丁目 1 番 1 号 パイオニア株式会社 総合研究所内 Saitama (JP).  
(22) 国際出願日: 2003 年 11 月 12 日 (12.11.2003)  
(25) 国際出願の言語: 日本語  
(26) 国際公開の言語: 日本語  
(30) 優先権データ:  
特願 2002-333168  
2002 年 11 月 18 日 (18.11.2002) JP  
(71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): パイオニア株式会社 (PIONEER CORPORATION) [JP/JP]; 〒153-8654 東京都目黒区目黒 1 丁目 4 番 1 号 Tokyo (JP).

[続葉有]

(54) Title: SEMICONDUCTOR LIGHT-EMITTING DEVICE AND METHOD FOR MANUFACTURING SAME

(54) 発明の名称: 半導体発行素子及びその製造方法



B 電子注入側

A...GROWTH DIRECTION (HOLE  
INJECTION SIDE)  
B...ELECTRON INJECTION SIDE

(57) **Abstract:** A semiconductor light-emitting device has an active layer having a quantum well structure of a compound semiconductor, and the quantum well structure is composed of a well layer and barrier layers sandwiching the well layer. With respect to the well layer and adjoining barrier layer on the electron injection side in the semiconductor light-emitting device, the well layer partially has a doped well region to which an n-type impurity is added in the interface with the barrier layer and the vicinity thereof and the barrier layer has a doped barrier region to which the n-type impurity is added at least in the interface with the well layer and the vicinity thereof.

(57) 要約: 半導体発光素子は、井戸層と井戸層を挟持する障壁層とからなる化合物半導体の量子井戸構造を活性層とする。半導体発光素子の隣接する井戸層及び障壁層において、井戸層は、その電子注入側の障壁層との界面及びその近傍に、n型不純物が添加さ

[続葉有]



(74) 代理人: 藤村 元彦 (FUJIMURA, Motohiko); 〒104-0045 東京都 中央区 築地 4 丁目 1 番 1 7 号 藤村国際特許事務所 Tokyo (JP).

(81) 指定国 (国内): AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

(84) 指定国 (広域): ARIPO 特許 (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア特許 (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ特許 (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IT, LU, MC, NL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI 特許 (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

— 国際調査報告書

2 文字コード及び他の略語については、定期発行される各 PCT ガゼットの巻頭に掲載されている「コードと略語のガイダンスノート」を参照。

## 明細書

## 半導体発光素子及びその製造方法

## 5 技術分野

本発明は、半導体発光素子に関する。

背景技術

III族窒化物半導体 ( $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}$ ) $_{1-y}\text{In}_y\text{N}$  ( $0 \leq x \leq 1$ ,  $0 < y \leq 1$ ) の単結晶を用いた発光ダイオード及び半導体レーザダイオードなどの半導体発光素子は可視から紫外に

10 わたる領域の光を発生する発光素子として開発されている。

膜厚数nm程度のバンドギャップの小さい半導体層をよりバンドギャップの大きな半導体層で挟み込んだ量子井戸層を発光層とする半導体レーザ素子の実現されている。多重量子井戸構造 (MQW) の活性層を変調ドープ構造とすることにより低しきい値動作を可能とする半導体レーザ素子も提案されている。

15 従来、InGaN系半導体レーザにおいて、活性層となるInGaN-MQWへのSiなどの不純物ドーピングは、障壁層のみ或いは井戸層のみ又は両者に一様に施されていた (例えば、再公表特許WO98/19375号公報参照)。または、活性層にドーピングをしない、すなわちアンドープ (意図的に不純物ドーピングがなされていない) のMQWも提案されている (例えば、特開2001-7444号公報参照)。

20 従来、量子井戸構造の半導体発光素子でも動作電流密度が高く、実用に十分な特性は得られていない。よって、動作電流密度が低く連続発振に適した半導体発光素子が望まれている。

### 発明の開示

そこで、本発明の解決しようとする課題には、しきい電流密度の低い半導体発光素子を提供することが一例として挙げられる。

本発明の半導体発光素子は、井戸層と前記井戸層を挟持する障壁層とからなる化合物半導体の量子井戸構造を活性層とする半導体発光素子であって、隣接する前記井戸層及び前記障壁層において、前記井戸層は、その電子注入側の前記障壁層との界面及びその近傍に、n型不純物が添加された井戸ドーピング領域を部分的に有し、かつ、前記障壁層は、前記n型不純物が添加された障壁ドーピング領域を、少なくとも前記界面及びその近傍に有する。

10 本発明の半導体発光素子の製造方法は、井戸層と前記井戸層を挟持する障壁層とからなる化合物半導体の量子井戸構造を活性層とする半導体発光素子の製造方法であって、

n型不純物を添加しつつ障壁層を成長して前記n型不純物が添加された障壁ドーピング領域をその最表面まで形成する工程と、前記最表面から前記n型不純物を添加しつつ井戸層を成長して前記n型不純物が添加された井戸ドーピング領域をその最表面に至る前の電子注入側の前記障壁層との界面及びその近傍まで形成する工程と、を含む。

### 図面の簡単な説明

図1は、本発明による実施形態の多重量子井戸構造の半導体レーザ素子を示す概略断面図である。

図2は、本発明による実施形態の多重量子井戸構造の半導体レーザ素子における活性層を示す概略拡大断面図である。

図3は、本発明における多重量子井戸構造の試料及び比較例のPL強度を示すグラフである。

図4～9は、実験に用いた多重量子井戸構造の試料における活性層を示す概略拡大断面図である。

## 5 発明を実施するための形態

以下に、本発明による半導体発光素子について添付図面を参照しつつ、実施形態を用いて説明する。

図1は実施形態の一例であるIII族窒化物半導体レーザ素子を示す。この半導体レーザ素子は、単結晶サファイア基板1上に順に積層された、n型コンタクト層3、n型クラッド層4、n型ガイド層5、InGa<sub>x</sub>N<sub>1-x</sub>を主たる構成要素とする井戸層と障壁層の単数もしくは複数の対からなる量子井戸構造の活性層6、p型ガイド層8、p型クラッド層9、並びに、p型コンタクト層10からなり、n型電極14及びp型電極13はn型コンタクト層3及びp型コンタクト層10にそれぞれ接続されている。換言すれば、この半導体レーザ素子は、III族窒化物からなる量子井戸構造の活性層の上下に位置しかつ正孔及び電子を活性層へ注入するp型及びn型のキャリア注入層より構成され、両キャリア注入層はそれぞれ、活性層を挟んでガイド層、クラッド層、コンタクト層の順に配置されてなる。p型クラッド層9にはリッジストライプ部18が形成されており、素子は電極を除きSiO<sub>2</sub>の絶縁膜11で被覆保護されている。n型及びp型クラッド層4、9は、n型及びp型ガイド層5、8より低屈折率で作製され、ガイド層との屈折率差によって膜面方向の導波が行なわれる。リッジストライプ部18はクラッド層9の膜厚を変化させることで実効屈折率に横方向の段差を生じさせて、発生した光を横方向に閉じ込めるために設けてある。n型コンタクト層3は電流経路として設けられている下地層であり、基板であるサファイアに全く導

電性がないために設けられている。なお、半導体レーザ素子において、低温成膜されたGaN又はAlNからなる、いわゆるバッファ層を、n型コンタクト層3とサファイア基板1との間に設けることもできる。また、p型AlGaInからなる、特に電子の閉じ込めを更に強化する電子障壁層を、活性層6とp型ガイド層8の間に設けることもできる。

- 5 図2に示すように、III族窒化物半導体レーザ素子の活性層6は、Siが部分的にドーピングされた井戸層62と、隣接しSiがドーピングされた障壁層61とが交互に積層された化合物半導体量子井戸構造を有している。井戸層62及び障壁層61は、化合物半導体である $B_{x'}Al_xGa_yIn_zN$  ( $x' + x + y + z = 1$ ) のIII族窒化物を主成分とする単結晶膜の複数を順次エピタキシャル成長させて形成されている。
- 10 素子のn型電極14及びp型電極13間に電圧を印加し、n型ガイド層5から電子が活性層6に注入された場合、活性層がIn組成の高い(すなわちバンドギャップの小さい)井戸層62とIn組成の小さい(すなわちバンドギャップの大きな)障壁層61とからなっているため、注入された電子は主として井戸層62に集められる。p型ガイド層8から注入された正孔とn型ガイド層5から注入された電子とが再結合して光が発生する。発生した光は、ガイド層及びクラッド層並びにリッジによって制限される。光は1対のクラッド層間の内側に閉じ込められ、リッジと平行方向に導波し、素子の端面より出射する。
- 15

- 図2に示すように、井戸層62は、その電子注入側の障壁層61との界面及びその近傍に、n型不純物が添加された井戸ドーピング領域62aを部分的に有し、かつ、障壁層61は、n型不純物が添加された障壁ドーピング領域61aを、少なくとも界面及びその近傍に
- 20 有している。

隣接する井戸層62及び障壁層61におけるn型不純物が添加された井戸ドーピング領域62a及びn型不純物が添加された障壁ドーピング領域61aは、III族窒化物半導体レーザ

素子の発光特性を改善する。

図2に示すように、井戸ドープ領域62aの膜厚 $t$ は、井戸層62の膜厚を $w$ とすると、 $0 < t < (w/2)$ の範囲にあることが好ましい。障壁層61は、n型不純物が添加されていない障壁アンドープ領域61bを、井戸層62の正孔注入側の界面及びその近傍に有

5 することが好ましい。さらに、井戸層62は、n型不純物が添加されていない井戸アンドープ領域62bを、井戸層62の正孔注入側の界面及びその近傍に有することが好ましい。なお、n型III族窒化物化合物半導体層を形成する場合、n型不純物にはSi、Ge、Se、Te、CなどのIV族又はVI族元素を使用できるが、n型不純物はSi又はGeであることが好ましい。ボロン(B)のIII族窒化物系化合物半導体におけるIII族元素の一部

10 は、タリウム(Tl)で置き換え得る。基板としてはサファイアその他、シリコン(Si)、炭化ケイ素(SiC)、スピネル( $MgAl_2O_4$ )、ZnO、MgOなどを用いることができる。

本発明における活性層を含む半導体層の結晶構造はウルツ鉱構造であり、素子主面はいわゆるC面である。ウルツ鉱構造はC軸方向に関して鏡像対称性が無く、いわゆるC面には二つ(表と裏)の極性、即ち(0001)と(000 $\bar{1}$ )面とが存在する。これと

15 対応して、エピタキシャル成長方向にも $\langle 0001 \rangle$ 方向と $\langle 000\bar{1} \rangle$ 方向が存在する。本発明の実施形態ではエピタキシャル成長方向が $\langle 0001 \rangle$ 方向となっている。これは、実験的に、 $\langle 0001 \rangle$ 方向で成長した結晶層の発光特性が、 $\langle 000\bar{1} \rangle$ 方向のものより良好であることが判明しているからである。

通常、いわゆる変調ドーピングを行う場合、井戸層または障壁層に均一なドーピング

20 を行なう。これに対し、発明者らは、主として障壁層にドーピングを行いつつも、故意にドーピング位置を偏移させることにより、素子の発光特性が改善されることを見出した。以下、この意図的にドーピング位置を偏移させた手法をオフセットドーピングと呼び、

正孔注入側へのオフセットを正(+)、電子注入側へのオフセットを負(-)と呼ぶ。また、以下、単にオフセット又はオフセット量という場合、Siなどのn型不純物が添加すなわちドーピングされた部分又は領域のオフセット又はオフセット量を示す。

以下、本発明によるIII族窒化物を主成分とする活性層を有する半導体発光素子の製造方法について詳述する。

ここで、本実施形態の素子においては、成膜方法として有機金属気相成長(MOCVD)法を用いている。また、急峻なヘテロ界面を生成できる分子線エピタキシ(MBE)法を用いても半導体発光素子を製造できる。

10 サファイア基板上にn型コンタクト層として15  $\mu$ mの膜厚でGaNが予め成膜された下地ウエハをMOCVD装置に装填し、300Torrの圧力の水素キャリアガス中で昇温を開始する。基板温度が400°Cに達したら、N原料であるアンモニア(NH<sub>3</sub>)を反応炉内に導入し、さらに昇温を続ける。

15 基板温度が1050°Cに達したら、Ga前駆物質であるトリメチルガリウム(以下、TMGと略す)とAl前駆物質であるトリメチルアルミニウム(以下、TMAと略す)とSi前駆物質であるメチルシラン(いわゆるMeSiH<sub>3</sub>)を反応炉内に導入し、SiドーパAlGaNからなるn型クラッド層をn型コンタクト層上に膜厚1.2  $\mu$ mで成長する(n型クラッド層形成工程)。n型クラッド層の目的膜厚になった時、TMAの供給のみを停止する。

20 次に、TMGとメチルシランは供給し続けSiドーパGaNからなるn型ガイド層を膜厚0.05  $\mu$ mでn型クラッド層上に成長する(n型ガイド層形成工程)。n型ガイド層の目的膜厚になった時、TMG及びメチルシランの供給を停止して降温を開始する。

次に、基板温度が780°Cに達したら、キャリアガスを水素から窒素に変更する。その後、TMGとIn前駆物質である第1のトリメチルインジウム(以下、TMIと略す)を導入し、

アンドープInGa<sub>x</sub>Nからなる障壁層をn型ガイド層上に膜厚10 Åで成長する(アンドープ障壁層形成工程)。

- 次に、メチルシランを導入してSiドーピングInGa<sub>x</sub>Nよりなる障壁ドーピング領域(Siドーピング部分)を障壁アンドープ領域(アンドープ部分)上に膜厚50 Åで成長する(Siドーピング障壁層形成工程)。
- 5

- 次に、第1のTMIの供給を止め、代わりに第2のTMIを供給し、SiドーピングInGa<sub>x</sub>Nからなる井戸ドーピング領域(Siドーピング部分)を障壁ドーピング領域(Siドーピング部分)上に膜厚10 Åで成長する(Siドーピング井戸層形成工程)。ここで、第1のTMIと第2のTMIの違いは、流量が異なるだけであって、この違いによって固相組成の異なるIn<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>N (0 < x < 1)よりなる井戸層とIn<sub>y</sub>Ga<sub>1-y</sub>N (0 ≤ y < x)よりなる障壁層ができる。
- 10

次に、メチルシランの供給を止め、井戸層(アンドープ部分)を井戸ドーピング領域(Siドーピング部分)上に膜厚20 Åで成長する(アンドープ井戸層形成工程)。

- 次に、第2のTMIの供給を止め、代わりに第1のTMIを供給し、先のアンドープ障壁層形成工程から繰り返す。例えば、アンドープ障壁層形成工程からアンドープ井戸層形成工程までを全3回繰り返し、最後の障壁層(アンドープ部分、Siドーピング部分)を成膜して、3つの井戸層からなるオフセットドーピングがなされたMQWの活性層を形成する。各ドーピング領域における結晶中のSi原子濃度は8E17~1E19/ccが好ましく、より好ましくは1E18~7E18/ccである。上記工程におけるメチルシランの流量は、最終的な結晶中Si原子濃度が前記範囲となるように調整される。
- 15

- 次に、最後の障壁層の膜厚がトータル60 Åになったら、第1のTMIとメチルシランの供給を止め、代わりにTMAとMg前駆物質であるビスエチルシクロペンタジエニルマグネシウム{Mg(C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>C<sub>5</sub>H<sub>4</sub>)<sub>2</sub>以下、EtCp2Mgと略す}を導入し、MgドーピングAlGa<sub>x</sub>N
- 20

よりなる電子障壁層を活性層上に膜厚200Åで成長する(電子障壁層形成工程)。

次に、キャリアガスを窒素から水素に変更し昇温を開始する。基板温度が1050℃に達したら、TMGとEtCp2Mgを導入し、MgドープGaNからなるp型ガイド層を電子障壁層上に膜厚0.05μmで成長する(p型ガイド層形成工程)。

- 5 次に、TMAを導入し、MgドープAlGaNからなるp型クラッド層をp型ガイド層上に膜厚0.5μmで成長する(p型クラッド層形成工程)。

次に、TMAの供給のみを停止し、MgドープGaNからなるp型コンタクト層をp型クラッド層上に膜厚0.1μmで成長する(p型コンタクト層形成工程)。

- 次に、TMGとEtCp2Mgの供給を停止し、降温を開始する。基板温度が400℃以下  
10 になったら、アンモニアの供給を止める。基板温度が室温になったら、半導体レーザ構造が積層されたウェハをMOCVD装置から取り出す。

- その後、通常の写真リソグラフィプロセスとドライエッチングにより、n型コンタクト層を部分的に露出させ電流経路を画定し、さらにp型コンタクト層及びp型クラッド層からリッジストライプ部を形成し、露出した表面にSiO<sub>2</sub>などの絶縁膜を堆積する。次に、この絶  
15 縁膜に、電極を形成するための窓をパターニングする。そしてチタン及びニッケルなどからなるn型電極及びp型電極をn型コンタクト層及びp型コンタクト層にそれぞれ接続するように形成する。

その後、裏面のサファイア基板側を所定ウェハ厚まで研磨し、劈開し分割して、チップ化を行う。

- 20 上記方法を通して、リッジ幅5μm、共振器長1mmのレーザ素子を作製し、駆動試験を行なった。その結果、このレーザ素子は、波長405nm、しきい電流密度4.3kA/cm<sup>2</sup>でレーザ発振した。比較のために、オフセット無しで障壁層のみに一様にドーピ

ングを行なった従来技術のレーザ素子も作製し駆動試験を行なった結果、しきい電流密度は $7.8\text{kA}/\text{cm}^2$ であった。

上記のレーザ素子による比較とは別に、活性層のみでの比較を行なうべく、PL(フォトルミネッセンス)評価用の試料を種々作製し、測定を行なった。上記試料は基本的に、

- 5 前述のレーザ構造の、最上部の障壁層までで成長を中止したものである。以下、こうした試料をMQW試料と呼ぶ。

- 第一のMQW試料は、上記実施形態で前述したレーザ素子の活性層部分と同一の構成となっている。アンドープ障壁層形成工程並びに井戸層形成工程において、第1のTMIの導入とメチルシランの導入を同時に行わず、オフセットの時間差(井戸層膜厚 $w$ の $1/3$ 相当の井戸ドーピング領域の膜厚 $t$ に相当)を設け、さらに障壁層形成工程において、第1のTMIの供給を止め、第2のTMIを導入した後もメチルシランの供給は継続し、所定のオフセットの時間差(井戸層膜厚 $w$ の $1/3$ 相当の井戸ドーピング領域の膜厚 $t$ に相当)経過後、メチルシランの供給を止めることによって作製された。このMQW試料をサンプルDと呼ぶ。

- 15 さらに以下のように、比較例の素子を作製し発光特性の比較実験をPL法で行った。

比較例Aとして、サンプルDの製造工程において活性層成長時にメチルシランを導入しない以外、同一の工程で、いわゆるアンドープのMQW試料を作製した。

- 比較例Bとして、サンプルDの製造工程において井戸層成長時にメチルシランの導入せず障壁層成長時にメチルシランを導入した以外、同一の工程で、いわゆる全障壁ドーピングのMQW試料を作製した。

比較例Cとして、サンプルDの製造工程において障壁層成長時にメチルシランの導入せず井戸層成長時にメチルシランを導入した以外、同一の工程で、いわゆる全井戸

ドープのMQW試料を作製した。なお、実際のオフセットの量は、SIMS(二次イオン質量分析)により確認した。障壁層の成長時のみにメチルシランを供給した場合は、井戸層と障壁層の指標となるInプロファイルとSiプロファイルの変化は逆位相で完全に一致した。一方、オフセットドーピングを行なった場合、前駆物質ガスの供給タイミング

5 に対応したオフセット量が得られていることをSIMSのInプロファイルとSiプロファイルのずれ量で確認した。

サンプルD及び比較例の発光特性実験を行い、その結果を図3に示す。発光特性の評価は、窒素レーザ光でサンプル表面を照射することによりMQWを励起し、その発光を観測するというPL(フォトルミネッセンス)法で行った。図はPLにおける発光強度

10 を相対比較したものである。比較例A, B, Cの中では比較例Cがわずかに強度が高いだけであるが、オフセットドーピングを行ったサンプルDはこれらに比較して、さらに発光強度が高い、つまり発光特性が良好であることが分かった。

さらに、上記実験でオフセットドーピングによるサンプルDによって、発光特性が改善されることがわかったので、オフセットの方向及び量を変化させた種々のMQW試料を

15 作製した。

サンプルEとして、井戸層の正孔注入側の障壁層との界面を跨いでSiドープ部分がオフセット形成された以外、サンプルDの製造工程と同一の工程で、いわゆる逆オフセットドーピングのMQW試料を作製した。サンプルEは、アンドープ障壁層形成工程並びに井戸層形成工程において第1のTMIの導入とメチルシランの導入を同じに行わ

20 ず、オフセットの時間差(井戸層厚の $-1/3$ 相当)を設け作製された。

サンプルHとして、井戸層の電子注入側の障壁層との界面を跨いでSiドープ部分がオフセットの量を多くして形成された以外、サンプルDの製造工程と同一の工程で、い

いわゆるオフセットドーピングのMQW試料を作製した。このとき、オフセットの量は井戸層厚の2/3相当であった。

- サンプルIとして、井戸層の電子注入側の障壁層との界面を跨いでSiドープ部分がオフセット形成され、さらに障壁層すべてにSiドープがなされた以外、サンプルDの製造工程と同一の工程で、いわゆる片側オフセットドーピングのMQW試料を作製した。

作製した比較例A、B及びC並びにサンプルE、H及びIの断面模式図を図4、図5、図6、図7、図8及び図9にそれぞれ示す。

- サンプルD及び比較例の発光特性実験を行い、その結果も図3に示す。図から明らかのように、オフセット量に関しては、サンプル及び比較例の順序が $B < I < H < D$ であることから、サンプルDのオフセット量の場合がもっとも高い。逆オフセットのサンプルEは比較例Bに対しても強度が低下していることから、オフセットの方向が重要であり、隣接する井戸層及び障壁層において、井戸層は、その電子注入側の障壁層との界面及びその近傍に、n型不純物が添加された井戸ドープ領域を部分的に有し、かつ、障壁層は、n型不純物が添加された障壁ドープ領域を、少なくとも界面及びその近傍に有することが好ましいことが分かる。

- また、サンプルIとサンプルDの結果を比較することにより、井戸層にオフセットを設けるだけでなく、同じに障壁層にもドーピングを施さない領域(井戸層62の正孔注入側の界面及びその近傍の障壁アンドープ領域61b)をもうけることが効果を大きくしていることが分かる。よって、障壁層61の障壁アンドープ領域61bの膜厚は、井戸ドープ領域62aの膜厚以下であることが好ましい。サンプルD及びIの結果から、井戸ドープ領域62aの膜厚 $t$ は、井戸層62の膜厚を $w$ とすると、 $0 < t < (w/2)$ の範囲にあることが好ましいことが分かる。

上記実施形態は本発明を半導体レーザ素子に適用した場合について説明したが、  
発光ダイオードに適用しても同様な効果を得ることができ、高輝度(高効率)の発光ダイオードが作製できる。上記実施形態では発光層として多重量子井戸(MQW: multi quantum well)構造について説明したが、活性層は単一量子井戸(SQW: single quantum well)構造としてもよい。

5

## 請求の範囲

1. 少なくとも化合物半導体からなる半導体発光素子であって、井戸層と前記井戸層を挟持する障壁層とを含む量子井戸構造からなる活性層を含み、前記井戸層は
- 5 その電子注入側の前記障壁層との界面及びその近傍にn型不純物が添加された井戸ドープ領域を部分的に有し、かつ、前記障壁層は前記n型不純物が添加された障壁ドープ領域を少なくとも前記界面及びその近傍に有する半導体発光素子。
2. 前記井戸層の膜厚を $w$ とすると、前記井戸ドープ領域の膜厚 $t$ が $0 < t < (w/2)$ の範囲にある請求項1記載の半導体発光素子。
- 10 3. 前記障壁層は、前記n型不純物が添加されていない障壁アンドープ領域を、前記井戸層の正孔注入側の界面及びその近傍に有する請求項1又は2記載の半導体発光素子。
4. 前記障壁層の前記障壁アンドープ領域の膜厚は、前記井戸ドープ領域の膜厚以下である請求項3記載の半導体発光素子。
- 15 5. 前記障壁ドープ領域は前記障壁層の全体に広がっている請求項1又は2記載の半導体発光素子。
6. 前記活性層の結晶構造はウルツ鉱構造であり、前記活性層の主面は(0001)面である請求項1～5のいずれかに記載の半導体発光素子。
7. 前記化合物半導体は $B_x \cdot Al_x Ga_y In_z N (x' + x + y + z = 1)$ のIII族窒化物を主
- 20 成分とする請求項1～6のいずれかに記載の半導体発光素子。
8. 前記n型不純物は、Si又はGeである請求項1～7のいずれかに記載の半導体発光素子。

9. 前記井戸ドーピング領域及び障壁ドーピング領域におけるn型不純物の濃度は、 $8E17/cc \sim 1E19/cc$ である請求項1～8のいずれかに記載の半導体発光素子。

10. 少なくとも化合物半導体からなり、井戸層と前記井戸層を挟持する障壁層とを含む量子井戸構造からなる活性層を含む半導体発光素子の製造方法であって、

5 n型不純物を添加しつつ障壁層を成長して前記n型不純物が添加された障壁ドーピング領域をその最表面まで形成する工程と、

前記最表面上に前記n型不純物を添加しつつ井戸層を成長して、前記n型不純物が添加された井戸ドーピング領域を、電子注入側の前記障壁層との界面としての前記最表面上に形成する工程と、を含む半導体発光素子の製造方法。

10 11. 前記井戸層の膜厚を $w$ とすると、前記井戸ドーピング領域の膜厚 $t$ が $0 < t < (w/2)$ の範囲にある請求項10記載の半導体発光素子の製造方法。

12. 前記障壁層は、前記n型不純物が添加されていない障壁アンドーピング領域を、前記井戸層の正孔注入側の界面及びその近傍に形成する工程を含む請求項10又は11記載の半導体発光素子の製造方法。

15 13. 前記障壁層の前記障壁アンドーピング領域の膜厚は、前記井戸ドーピング領域の膜厚以下である請求項12記載の半導体発光素子の製造方法。

14. 前記障壁ドーピング領域を形成する工程において、前記障壁ドーピング領域を前記障壁層の全体に形成する請求項10又は11記載の半導体発光素子の製造方法。

15. 前記障壁ドーピング領域を形成する工程において、前記障壁ドーピング領域は、前記活性層の結晶構造がウルツ鉱構造となりかつ前記活性層の主面が(0001)面となるように形成される請求項10～14のいずれかに記載の半導体発光素子の製造方法。

16. 前記化合物半導体は $B_xAl_xGa_yIn_zN$  ( $x' + x + y + z = 1$ )のIII族窒化物を

主成分とする請求項10～15のいずれかに記載の半導体発光素子の製造方法。

17. 前記n型不純物は、Si又はGeである請求項10～16のいずれかに記載の半導体発光素子の製造方法。

18. 前記井戸ドープ領域及び障壁ドープ領域におけるn型不純物の濃度は、 $8 \times 10^{17} / \text{cc} \sim 1 \times 10^{19} / \text{cc}$ である請求項10～17のいずれかに記載の半導体発光素子の製造方法。

1/5

図 1

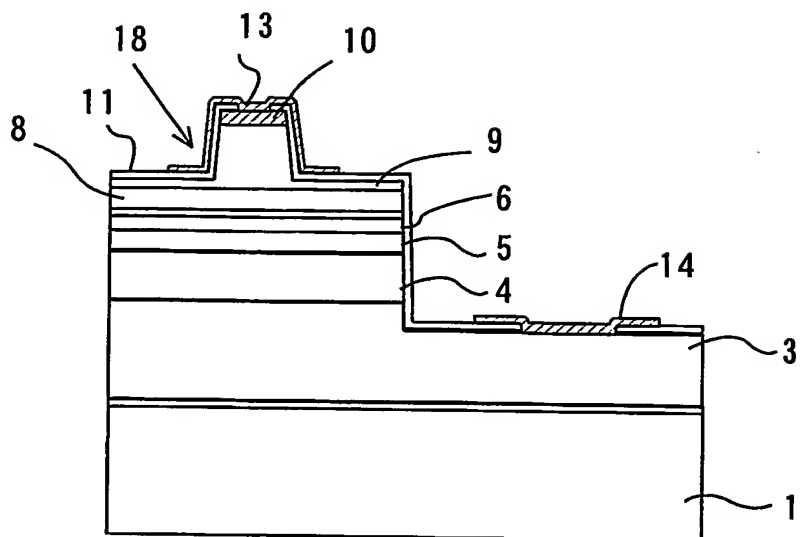
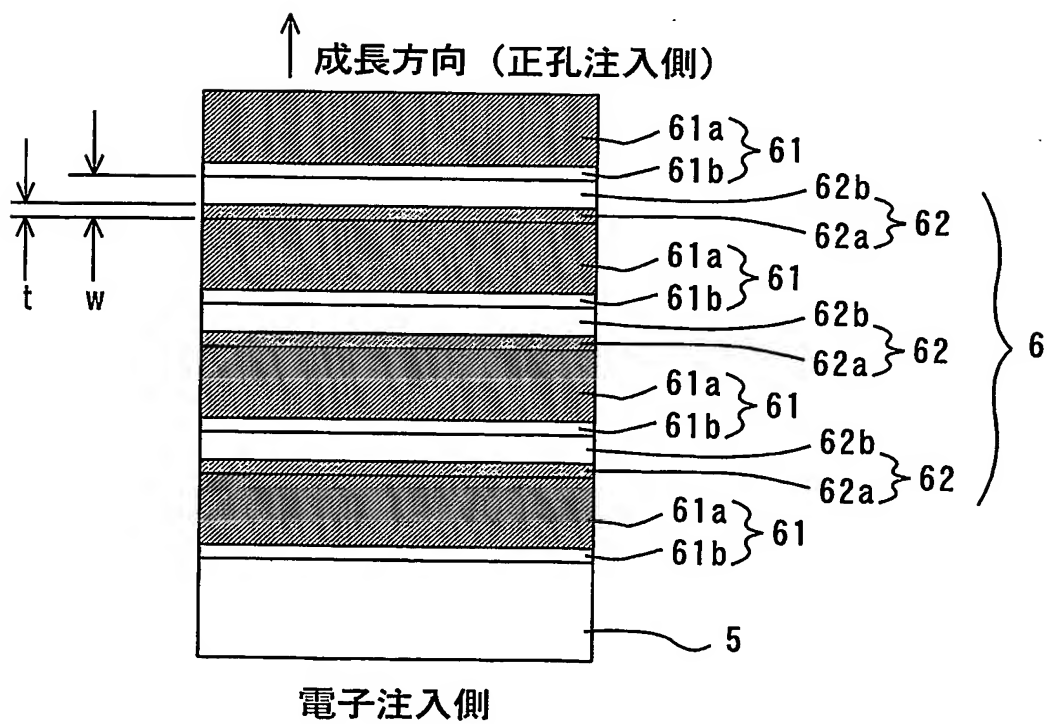


図 2



2/5

図 3

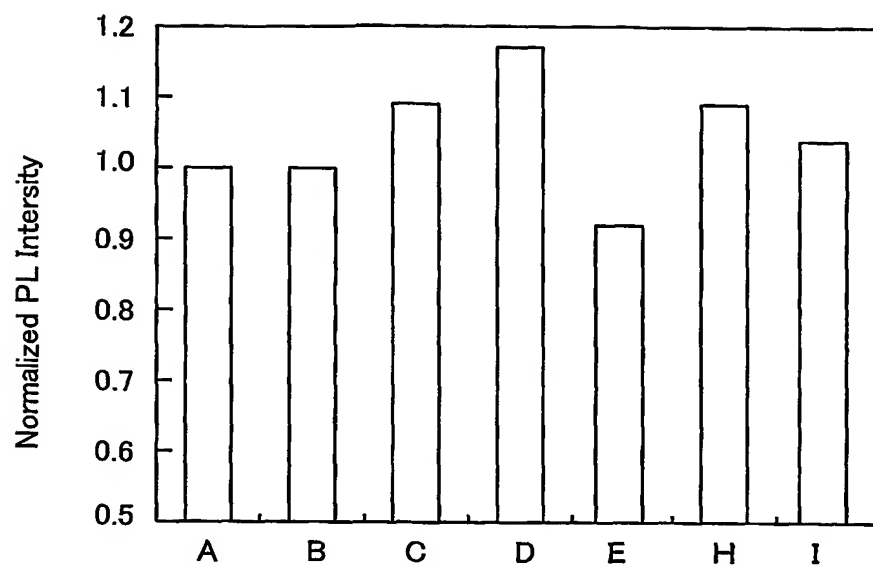
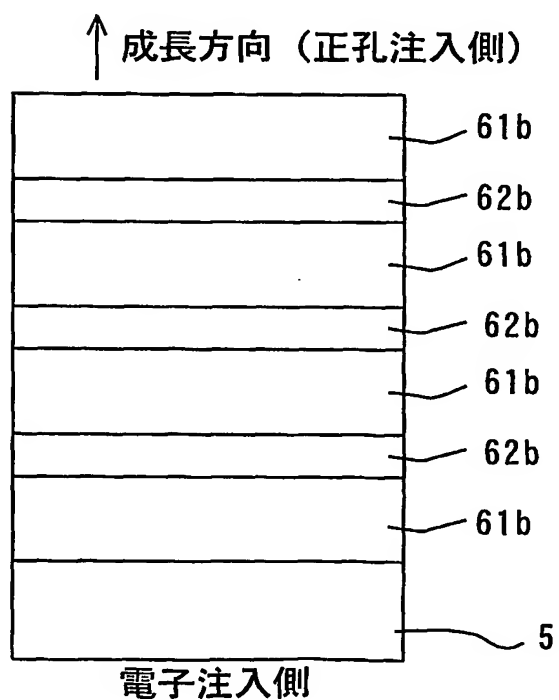


図 4



3/5

図 5

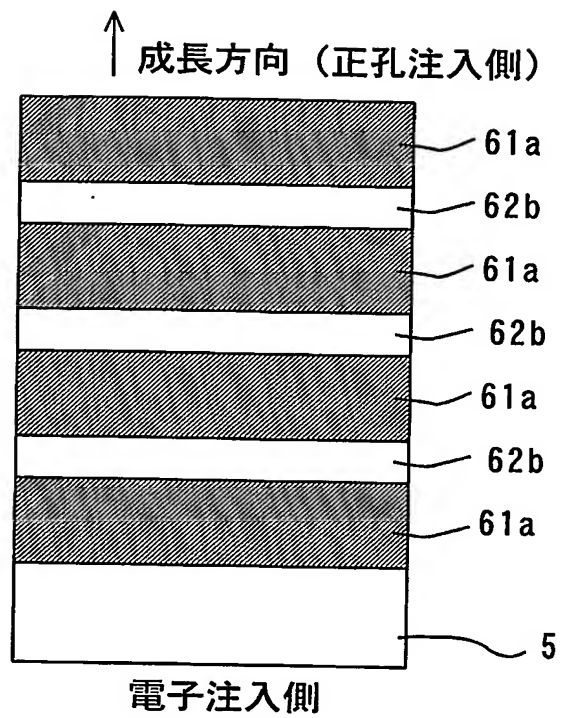
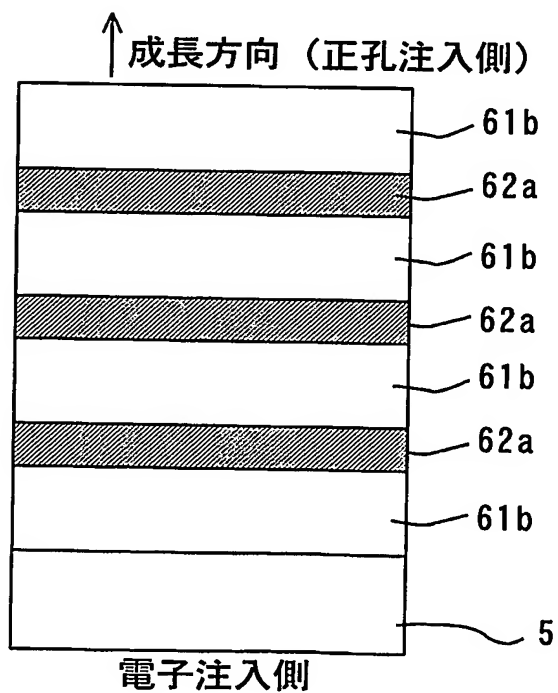


図 6



4/5

図 7

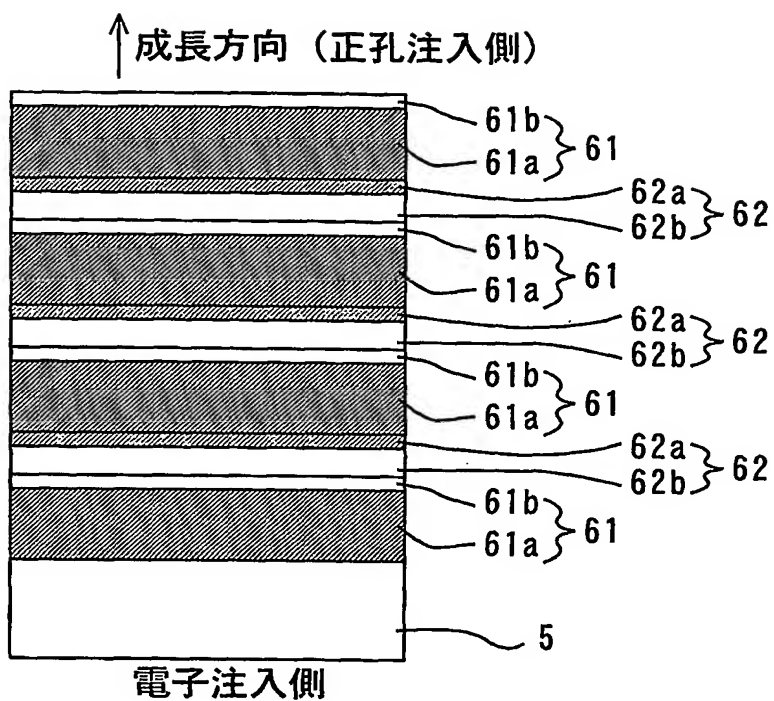


図 8

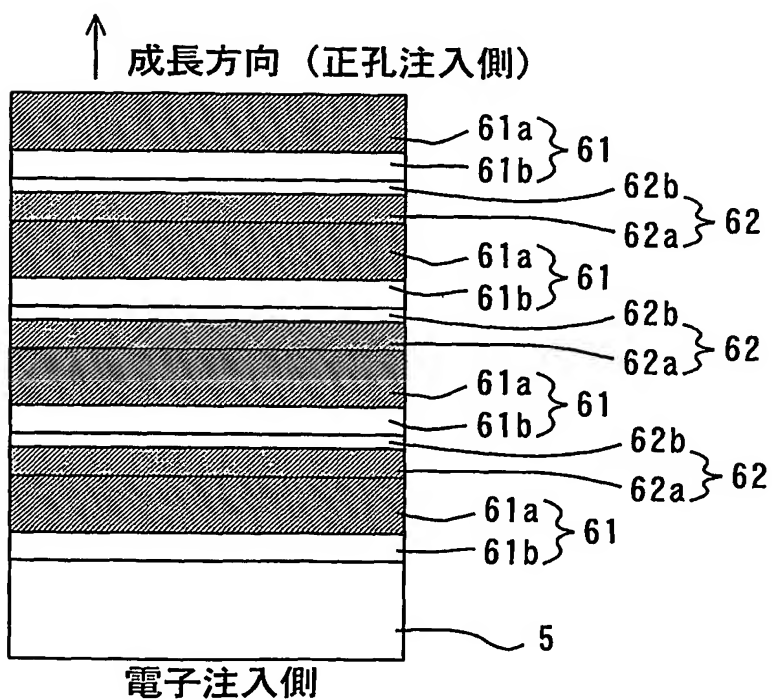
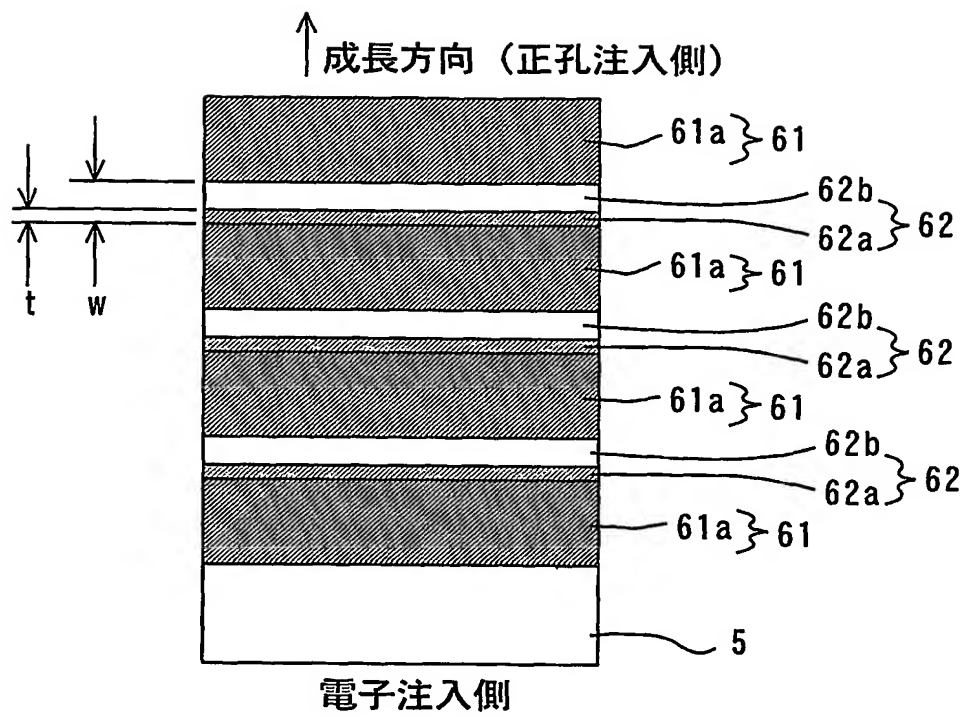


図 9



## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.  
PCT/JP03/14366A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER  
Int.Cl<sup>7</sup> H01S5/343

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

## B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)  
Int.Cl<sup>7</sup> H01S5/343Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched  
Jitsuyo Shinan Koho 1922-1996 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-2004  
Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-2004 Jitsuyo Shinan Toroku Koho 1996-2004

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	JP 5-291133 A (Nippon Telegraph And Telephone Corp.), 05 November, 1993 (05.11.93), Y Par. Nos. [0008] to [0009]; Fig. 3 (Family: none)	1, 2, 4, 6, 8-11, 13, 15, 17, 18 3, 5, 7, 12, 14, 16
X	JP 2000-82676 A (Sharp Corp.), Y 21 March, 2000 (21.03.00), Full text; all drawings (Family: none)	10, 14-17 1-9, 11-13, 18
X	JP 2000-261106 A (Matsushita Electric Industrial Co., Ltd.), Y 22 September, 2000 (22.09.00), Par. Nos. [0043] to [0087]; Figs. 1 to 5 (Family: none)	10, 14-17 1-9, 11-13, 18

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C.☐ See patent family annex.

\* Special categories of cited documents:  
 "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance  
 "E" earlier document but published on or after the international filing date  
 "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)  
 "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means  
 "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention  
 "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone  
 "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art  
 "&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search  
09 February, 2004 (09.02.04)Date of mailing of the international search report  
24 February, 2004 (24.02.04)Name and mailing address of the ISA/  
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No.

PCT/JP03/14366

## C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X Y	JP 2001-77417 A (Sharp Corp.), 23 March, 2001 (23.03.01), Full text; all drawings (Family: none)	10, 14-17 1-9, 11-13, 18
X Y	JP 2001-144326 A (Sharp Corp.), 25 May, 2001 (25.05.01), Full text; all drawings (Family: none)	10, 14-17 1-9, 11-13, 18
A	JP 2000-277868 A (Sanyo Electric Co., Ltd.), 06 October, 2000 (06.10.00), Full text; all drawings (Family: none)	1-18
A	JP 2000-332364 A (Matsushita Electric Industrial Co., Ltd.), 30 October, 2000 (30.10.00), Full text; all drawings (Family: none)	1-18

## A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl<sup>7</sup> H01S5/343

## B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl<sup>7</sup> H01S5/343

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報 1922-1996年  
 日本国公開実用新案公報 1971-2004年  
 日本国登録実用新案公報 1994-2004年  
 日本国実用新案登録公報 1996-2004年

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

## C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
X	JP 5-291133 A (日本電信電話株式会社) 1993.11.05, 【0008】欄-【0009】欄, 図3 (ファミリーなし)	1, 2, 4, 6, 8-11, 13, 15, 17, 18
Y		3, 5, 7, 12, 14, 16
X	JP 2000-82676 A (シャープ株式会社) 2000.03.21, 全文, 全図 (ファミリーなし)	10, 14-17
Y		1-9, 11-13, 18

☒ C欄の続きにも文献が列挙されている。☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

## \* 引用文献のカテゴリー

「A」 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの  
 「E」 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの  
 「L」 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)  
 「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献  
 「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの

「X」 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの

「Y」 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの

「&amp;」 同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

09.02.04

国際調査報告の発送日

24.2.2004

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/JP)  
 郵便番号100-8915  
 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)

土屋 知久

2K

8826

電話番号 03-3581-1101 内線 3253

## C (続き) . 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
X	JP 2000-261106 A (松下電器産業株式会社) 2000.09.22, 【0043】欄-【0087】欄, 図1-5	10, 14-17
Y	(ファミリーなし)	1-9, 11-13, 18
X	JP 2001-77417 A (シャープ株式会社) 2001.03.23, 全文, 全図 (ファミリーなし)	10, 14-17
Y		1-9, 11-13, 18
X	JP 2001-144326 A (シャープ株式会社) 2001.05.25, 全文, 全図 (ファミリーなし)	10, 14-17
Y		1-9, 11-13, 18
A	JP 2000-277868 A (三洋電機株式会社) 2000.10.06, 全文, 全図 (ファミリーなし)	1-18
A	JP 2000-332364 A (松下電器産業株式会社) 2000.10.30, 全文, 全図 (ファミリーなし)	1-18